

NÉOTECTONIQUE DES SÉDIMENTS PLIO-QUATERNAIRES DU NORD DE L'ALTIPLANO BOLIVIEN (RÉGION DE LA PAZ - AYO-AYO - UMALA)

Alain LAVENU

Géologue de l'O.R.S.T.O.M.
Mission O.R.S.T.O.M., C. P. 3714, La Paz, Bolivie

RÉSUMÉ

L'étude néotectonique des formations plio-quatérnaires des bassins de La Paz et Ayo-Ayo, faite à l'aide de l'analyse microtectonique des microfailles (décrochements, failles inverses, failles normales) nous permet dans une première approche de mettre en évidence différentes phases de déformation :

Phases intra à fini-Pliocène

- une phase de compression de direction $Z = N000$, de faible importance (failles inverses)
- une phase de compression de direction $Z = N070$ à $N090$ (associant plis et décrochements).

Phases quaternaires

- une phase de distension de direction $X = N000$ (failles normales)
- une phase de compression de direction $Z = N130$ (décrochements)
- une phase de distension de direction $X = N000$ (failles normales).

RESUMEN

El estudio neotectónico de las formaciones plio-cuaternarias de la cuenca de La Paz y Ayo-Ayo realizado con ayuda del análisis microtectónico de las microfallas (fallas de rumbo, fallas inversas, fallas normales), nos permite, en principio, poner en evidencia diferentes fases de deformación :

Fases intra a fini-Plioceno

- una fase de compresión de dirección $Z = N000$ de poca importancia (fallas inversas)
- una fase de compresión de dirección $Z = N070$ a $N090$ (con pliegues y fallas de rumbo).

Fases cuaternarias

- una fase de distensión de dirección $X = N000$ (fallas normales)
- una fase de compresión de dirección $Z = N130$ (fallas de rumbo)
- una fase de distensión de dirección $X = N000$ (fallas normales),

NEOTECTONICS OF PLIO-QUATERNARY SEDIMENTS IN THE NORTH OF BOLIVIAN ALTIPLANO (LA PAZ - AYO-AYO - UMALA AREA)

SUMMARY

The neotectonic analysis of plio-quatérnaire formations in La Paz and Ayo-Ayo basins, performed through microtectonic analysis of microfaults (strike-slip faults, reverse faults, normal faults) allows, as a first step, to distinguish various deformation phases :

Middle to late Pliocene phases

- a minor compression phase with direction $Z = N000$ (reverse faults)
- a compression phase with direction Z ranging between $N070$ and $N090$ (folds and strike-slip faults associated).

Quaternary phases

- a distension phase with direction $X = N000$ (normal faults)
- a compression phase with direction $Z = N130$ (strike-slip faults)
- a distension phase with direction $X = N000$ (normal faults).

НЕОТЕКТОНИКА ПЛИО-ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ БОЛИВИЙСКОГО АЛЬТИПЛАНО (ОБЛАСТЬ ЛА ПАС - АЙО-АЙО - УМАЛА)

РЕЗЮМЕ

Неотектоническое изучение плио-четвертичных образований бассейнов Ла Пас и Айо-Айо, при помощи микротектонического анализа микро-сбросов (сдвигов, взбросов, нормальных сбросов), позволяет выявить, на этой первой стадии исследования, различные фазы деформации:

Фазы от среднего до позднего плиоцена

- фаза сжатия в направлении $Z = N000$, малозначительная (взбросы)
- фаза сжатия в направлении $Z = N070$ до $N090$ (сочетающая складки и сдвиги)

Четвертичные фазы

- фаза растяжения в направлении $X = N000$ (нормальные сбросы)
- фаза сжатия в направлении $Z = N130$ (сдвиги)
- фаза растяжения в направлении $X = N000$ (нормальные сбросы)

INTRODUCTION

La manifestation la plus marquante de la néotectonique dans la partie nord de l'Altiplano (fig. 1) correspond à des failles quaternaires en distension affectant la surface de l'Altiplano (glacis 3). Elles caractérisent à grande échelle le pied de la Cordillère Orientale et à La Paz marquent le bord du bassin. Ces failles sont déjà décrites par E. Dobrovlny et leur direction est reportée sur la carte géologique au 1/100.000. Elles sont le plus souvent disposées en échelon suivant une direction générale andine ($N130$ environ). A ces failles en distension, s'ajoutent des failles en compression (décrochements, failles inverses) surtout développées dans les formations sous-jacentes pliocènes.

STRATIGRAPHIE

Celle-ci n'est pas encore établie de façon définitive, aussi restera-t-elle ici schématique (1).

La série pliocène

Dans le bassin de La Paz, la série (fig. 2) débute par la formation La Paz (continentale) datée paléontologiquement du Pliocène supérieur (R. HOFFSTETTER). C'est une série de 500 à 600 m argilo-sableuse. Dans la partie supérieure, parfois nettement conglomératique, on trouve une cinérite: «la toba Chijini». Cette cinérite (contrairement à ce que disaient les auteurs) est stratigraphiquement intercalée dans la formation La Paz et non au-dessus de celle-ci. Elle n'a pas pu être datée par radiométrie. En effet elle contient des éléments détritiques venant de granites anciens et, très souvent, les biotites de la matrice sont altérées (les âges varient de 0,5 MA à 11 MA; SERVANT, communication orale). Pour l'instant on n'a pas trouvé de fossiles dans la partie susjacente à la cinérite.

Sur l'Altiplano, cette série pliocène s'étend très loin au Sud de La Paz. En particulier elle porte les noms de formation Umala ou Ayo-Ayo suivant les lieux. Là, elle a été datée paléontologiquement

(1) Les principaux résultats stratigraphiques concernant le bassin de La Paz sont dus à un travail sur le terrain en commun avec M. SERVANT. Certains détails stratigraphiques et tectoniques ont été précisés sur le terrain en compagnie de J. L. BLES (BRGM).

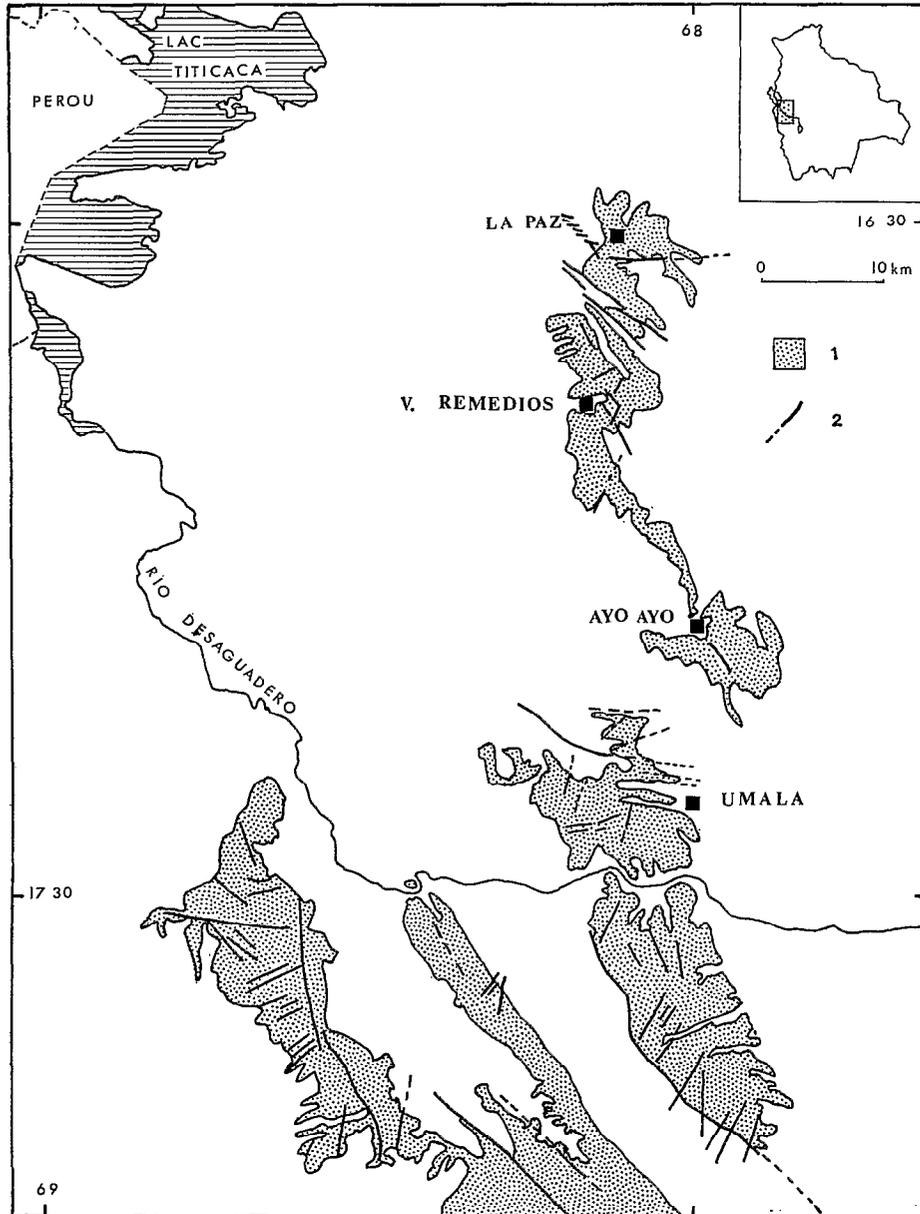


Fig. 1. — Cadre général. 1 : principaux affleurements du Pliocène supérieur dans le Nord de l'Altiplano bolivien (F. La Paz, Umala, Ayo-Ayo) ; 2 : failles.

et par radiométrie. En effet, discordante sur le Miocène, elle débute par une cinérite datée à 5,5 MA (J. F. EVERNDEN). Au-dessus on distingue deux autres niveaux importants de cinérite. Sous la plus jeune il a été trouvé un fossile « probablement pliocène ».

La série pléistocène

A La Paz, une des caractéristiques du Quaternaire (fig. 2) est la présence de divers glacis.

A la base du Quaternaire le premier glacis recoupe soit la partie supérieure de la série pliocène argilo-sableuse, soit directement la cinérite « Chijini ». Un paléosol affecte la partie supérieure de la formation pliocène. Sur le glacis se sont déposées des graves fluviales, peu épaisses (quelques mètres au maximum). Au-dessus viennent des dépôts morainiques (100 m d'épaisseur environ). C'est le témoin de la première glaciation (« Calvario »). Le sommet de cette série, altéré sur 2 m environ

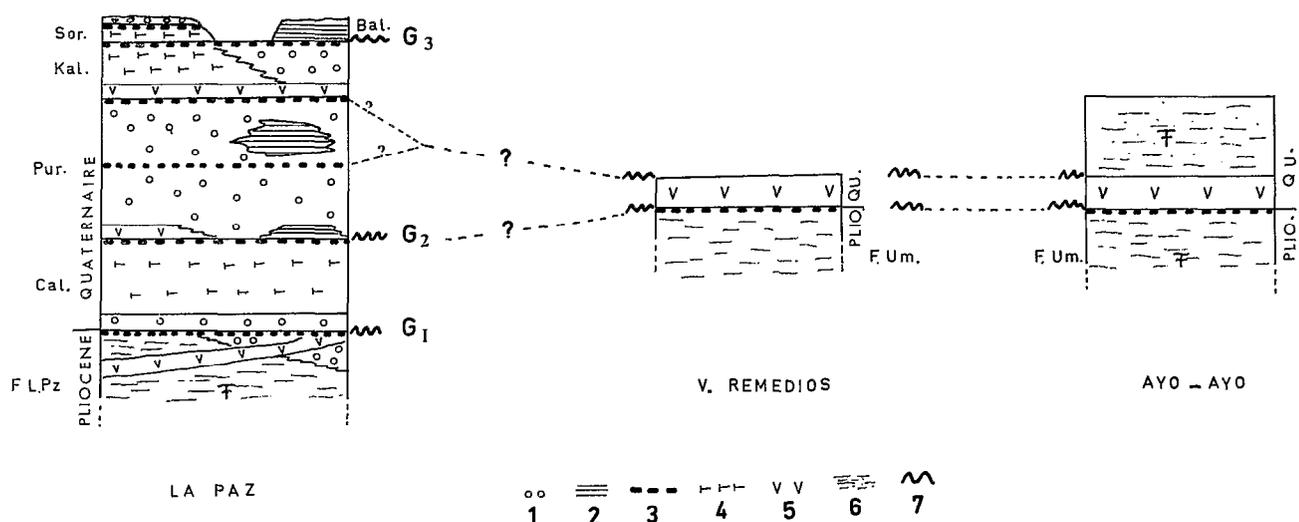


Fig. 2. — Logs stratigraphiques schématiques. 1 : Graves ; 2 : lacustre ; 3 : paléosol ; 4 : glaciaire ; 5 : cinérite ; 6 : formation argilo-sableuse ; 7 : glacis. (Les hauteurs ne sont pas respectées).

par un nouveau paléosol, est recoupé par le glacis 2. Sur ce glacis s'est déposée, sur plusieurs centaines de mètres une série fluviatile (« Graves Purapurani »). Elle débute soit par des graves, soit par une cinérite lenticulaire, ayant jusqu'à 4 m d'épaisseur, soit par une petite série lacustre. Plus haut, on peut voir, intercalées dans les graves, des lentilles de sédiments lacustres, pouvant atteindre 20 m d'épaisseur. A l'intérieur de la série « Purapurani », on trouve un niveau d'altération intermédiaire. Le sommet des graves est lui aussi altéré et on peut voir à certains endroits une nouvelle cinérite, peu épaisse (1 à 2 m), reposer sur ce dernier niveau d'altération du Purapurani. Cette cinérite est recouverte par une deuxième série glaciaire (glaciation Kaluyo). En aval cette glaciation passe à des graves fluvioglaciales. Les graves et les faciès morainiques sont recoupés par le glacis 3. Ils sont altérés dans leur partie supérieure, sur laquelle vient s'installer une troisième glaciation (« Sorata »). En aval du pied de la Cordillère, on trouve un dépôt lacustre (« Ballivian ») qui repose aussi sur le glacis 3.

Sur la glaciation Sorata on peut observer un dépôt de graves, séparé des faciès glaciaires par un niveau d'altération.

Sur l'Altiplano, la cinérite la plus jeune rencontrée recoupe un paléosol, parfois très marqué (Ayo-Ayo, Patacamaya, Villa Remedios, Loma Ventilla) (fig. 2). Cette cinérite se suit au moins depuis Umala au Sud jusqu'aux abords du bassin de La Paz au Nord. Elle se serait déposée sur une

surface d'érosion correspondant au glacis 2, et serait la même que celle rencontrée à la base du Purapurani dans le bassin de La Paz. A Ayo-Ayo, la cinérite est surmontée par une série sableuse et limoneuse datée paléontologiquement du Pléistocène (fig. 2) (R. HOFFSTETTER). Donc cette cinérite, différente de la cinérite « Chijini » sous laquelle on ne voit jamais de niveau d'altération, serait plus jeune. Elle est ensuite recoupée par une surface d'érosion, bien nette à Ayo-Ayo et Patacamaya. Cette surface d'érosion se situe dans le temps, entre les glacis 2 et 3 de M. SERVANT et pourrait correspondre soit au niveau d'altération que l'on trouve dans la série « Purapurani » du bassin de La Paz soit au paléosol surmontant cette même série.

Ces sédiments pliocènes et quaternaires ont rempli des bassins endoréiques, au pied de la Cordillère Orientale (bassins des lacs Titicaca et Poopo en particulier). A la fin du Quaternaire, le Rio La Paz a drainé le bassin de La Paz vers l'Atlantique et a provoqué ainsi un fort creusement qui s'est traduit par une succession de terrasses fluviatiles étagées (Pampajasi, Irapavi, Miraflores et les terrasses actuelles). Après certains de ces épisodes de creusement, se sont produits de grands glissements de terrains dont le plus important a provoqué un « torrente de barro » (lave ou coulée de boue avec toutefois quelques blocs pouvant conserver leur stratification) dans la zone d'Achocalla. E. DOBROVOLNY lui donne un âge de 9.000 ans environ.

ÉTUDE TECTONIQUE

Les déformations dans les dépôts pliocènes

Dans la formation La Paz l'étude microtectonique est facilitée par la finesse relative de la lithologie où les microstructures se marquent mieux que dans le matériel plus grossier et moins argileux des dépôts quaternaires.

Les déformations en compression

Dans tout le bassin de La Paz, on trouve des zones de glissement (exemp. Achocalla), parfois d'étendue importante, résédimentées et où il est difficile de différencier ce qui est en place de ce qui ne l'est pas. Aussi avons-nous fait nos observations sur le bord du bassin et plus rarement dans le centre, dans les zones en place.

Nos principales stations de mesures se trouvent au sud de La Paz (1) (Llojeta 1, Achocalla 2, Ceja Uypaca 3, Amachuma 4, Loma Ventilla 5) et à l'Est (Ovejuyo 6, Rio Achumani 7, Rio Irpavi 8) (fig. 3). Ce sont essentiellement les déformations cassantes qui ont été étudiées (microfailles inverses, décrochements). Le report sur diagramme stéréographique (Schmidt, hémisphère inférieur) des failles inverses relativement rares donne approximativement une direction de compression N000 à NE-SW. Le diagramme de la fig. 4 regroupe les zones de Ovejuyo, Llojeta et Ceja Uypaca. Il est donc peu significatif vu le faible nombre des failles mesurées et l'éloignement des stations de mesures. Les décrochements dextres et sénestres donnent deux directions Z moyennes (direction de raccourcissement) :

— N075 et N130

La direction moyenne $Z = N075$ s'observe dans les stations de mesure N^{os} 1, 3, 4 (fig. 5-6).

A Llojeta (station 1) la direction Z est N074. A Ceja Uypaca (station 3) elle est N090 et à Amachuma (station 4) des décrochements conjugués donnent une direction de compression $Z = N067$.

Cependant, il faut garder à l'esprit que nous sommes dans le niveau structural supérieur (MATTUER 1975) et que des facteurs tels que la présence du socle paléozoïque proche, des accidents profonds, etc. peuvent faire tourner Z. A la station 8, Rio Irpavi, des décrochements dextres, en moyenne N070 sont compatibles avec une telle direction de Z. A ces décrochements sont associés des plis, amples, hectométriques, de direction moyenne N-S. C'est le cas dans le Rio Achumani et près de Llojeta.

Par contre, les stations 5 et 6 (fig. 7-8) la première dans la formation Umala, à Loma Ventilla, la

seconde dans la formation La Paz, à Ovejuyo, donnent une direction $Z = N130$. Pour l'instant nous n'avons pas encore vu les directions N090 et N130 se superposer dans une même station.

Toutefois dans la station 4 des diaclases affectant la formation La Paz et plus particulièrement la cinérite Chijini, semblent, d'après leurs directions, correspondre à deux familles de décrochements. La déformation, relativement faible ne donnerait que des diaclases et non des microfailles en décrochement. Si nous considérons le diagramme des diaclases (fig. 9) nous voyons se dessiner deux familles de directions moyennes, N79 et N174 dont les pôles peuvent donner deux directions de Z :

— une N040

— l'autre N130

On ne connaît pas de direction de compression N040. Par contre, nous retrouverions ici la direction de compression N130 déjà connue dans les stations 5 et 6. A Amachuma nous aurions peut-être la superposition des directions $Z = N067$ (associé à $Z = N075$) et $Z = N130$.

A Ayo-Ayo, dans le Pliocène de la formation Umala, nous avons aussi observé la direction de compression ENE-WSW. En effet, ici $Z = N082$ (fig. 10).

La déformation en distension

Nous trouvons à La Paz dans les formations Umala et La Paz trois familles principales de failles normales :

— une famille (la plus nombreuse) comprise entre N070 et N115 ;

— une autre comprise entre N120 et N155 ;

— enfin une famille plus rare comprise entre N030 et N050.

L'examen des diagrammes réalisés (par exemple fig. 11-12) nous montre que nous pouvons déterminer des directions de X (direction d'allongement) groupées entre N344 et N005, c'est-à-dire en moyenne N000. Cette phase de distension donne naissance principalement à des failles normales E-W en moyenne car un cinquième seulement des failles mesurées (23 sur 119) regroupent les familles 2 et 3. Ces dernières sont compatibles aussi bien avec une direction de X = N000 qu'avec une direction de X = N085. Actuellement nous ne pouvons pas confirmer ou infirmer l'existence d'une telle direction de distension N085. Seule la direction N000 apparaît nettement. Elle est postérieure à la phase de compression $Z = N075$ car elle recoupe des décrochements conjugués donnant cette direction (Ceja

(1) La toponimie employée est celle des cartes au 1/50.000 de l'IGM (Bolivie).

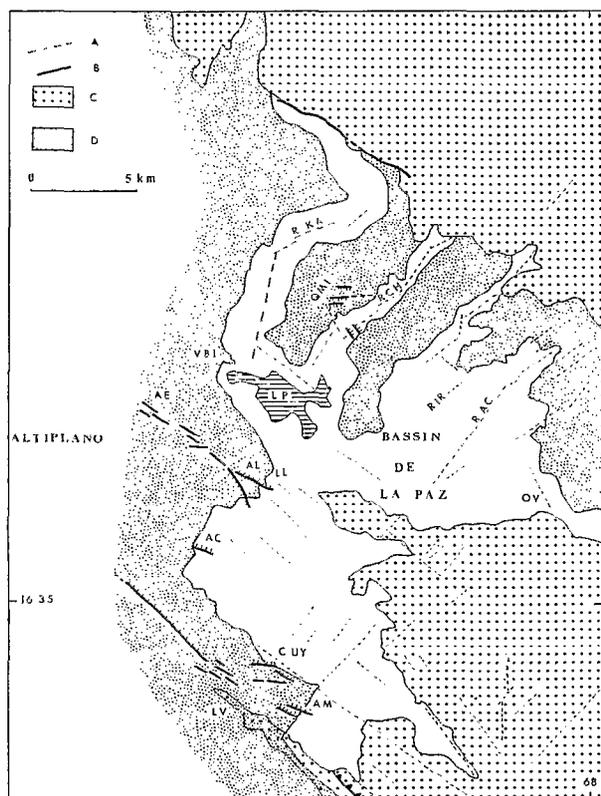


Fig. 3. — Schéma du bassin de La Paz et de ses environs. A : formations ante-pliocènes ; B : surface de l'Altiplano (et du glacis 3) ; C : failles ; D : alignements morphologiques principaux. AC = Achocalla ; AE = Aeropuerto ; AL = Allpacoma ; AM = Amachuma ; CUY = Ceja Uypaca ; LL = Llojeta ; LP = La Paz ; LV = Loma Ventilla ; OV = Ovejuyo ; QMIN = Quebrada Minasa ; RAC = Rio Achumani ; RCH = Rio Chuquiaguillo ; RIR = Rio Irpavi ; RK = Rio Kaluyo ; VBI = Villa Ballivian.

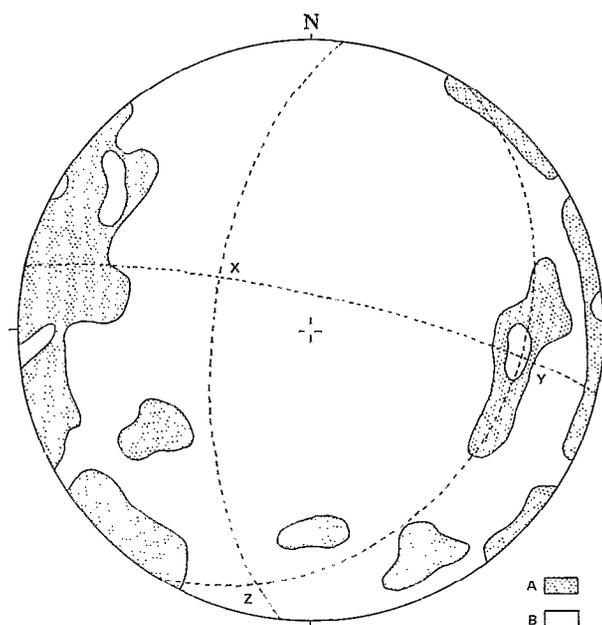


Fig. 4. — Diagramme stéréographique des pôles des plans de mouvement des failles et inverses des stations de mesures de Llojeta, Ceja Uypaca et Ovejuyo (17 failles inverses). Z = 10 — N193. A : 0 — 5,9 % ; B : 5,9 — 11, — % ; (1 % par unité de surface).

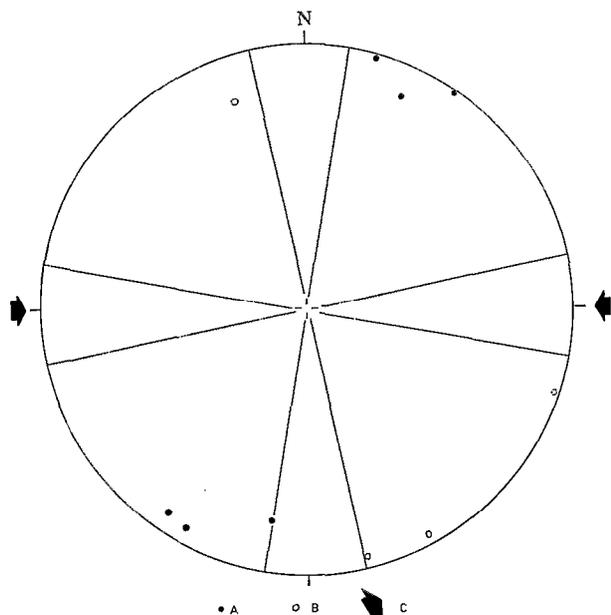


Fig. 5. — Diagramme de la station de mesure de Ceja Uypaca (10 décrochements) Z = N090. A : pôles des décrochements senestres ; B : pôles des décrochements dextres ; C : directions de la compression Z (les symboles sont les mêmes pour les diagrammes suivants).

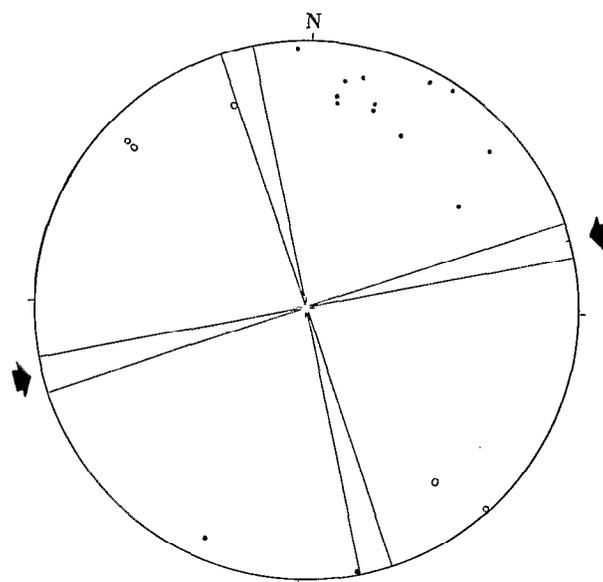


Fig. 6. — Diagramme de la station de mesure de Llojeta. (18 décrochements), Z = N074.

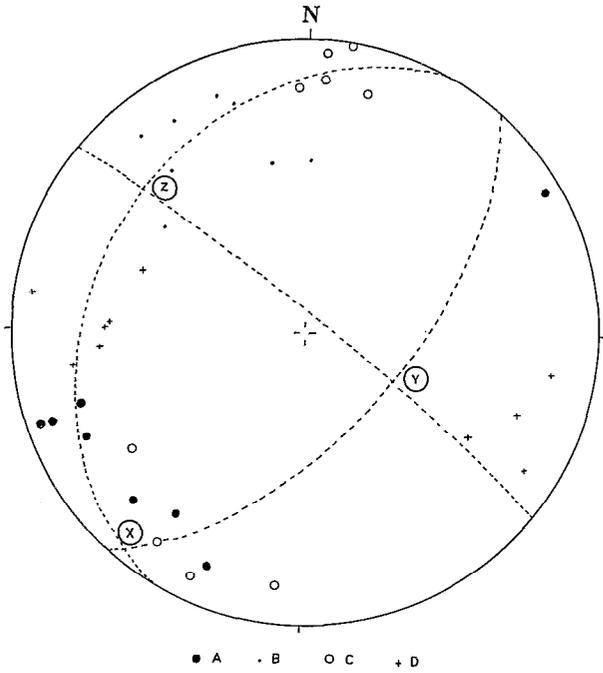


Fig. 7. — Diagramme de la station de mesure de Loma Ventilla. (18 décrochements) $Z = 27^\circ$ — N311. A : pôles des décrochements senestres ; B : stries des décrochements senestres ; C : pôles des décrochements dextres ; D : stries des décrochements dextres.

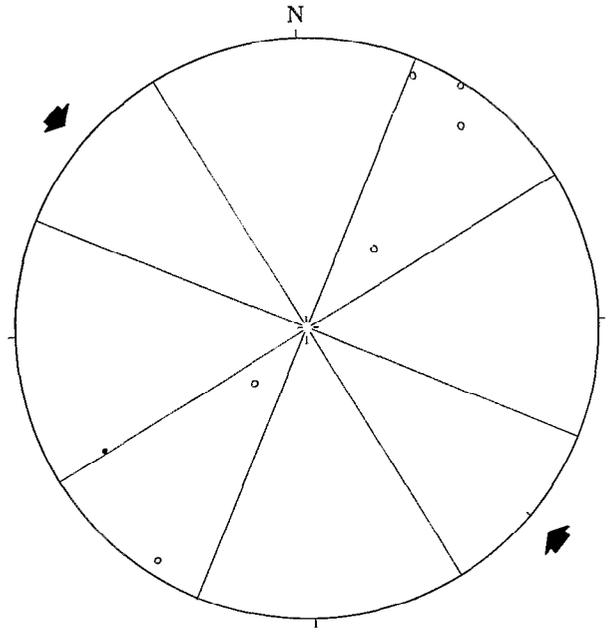


Fig. 8. — Diagramme de la station de mesure d'Ovejuyo. (7 décrochements) $Z = N132$.

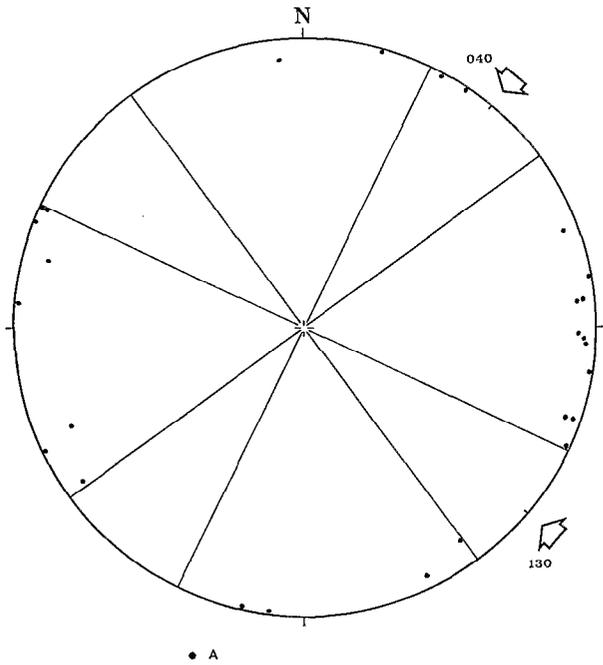


Fig. 9. — Diagramme des pôles de 27 diaclases de la station de mesure d'Amachuma, avec deux directions possibles, de compression : N040 et N130.

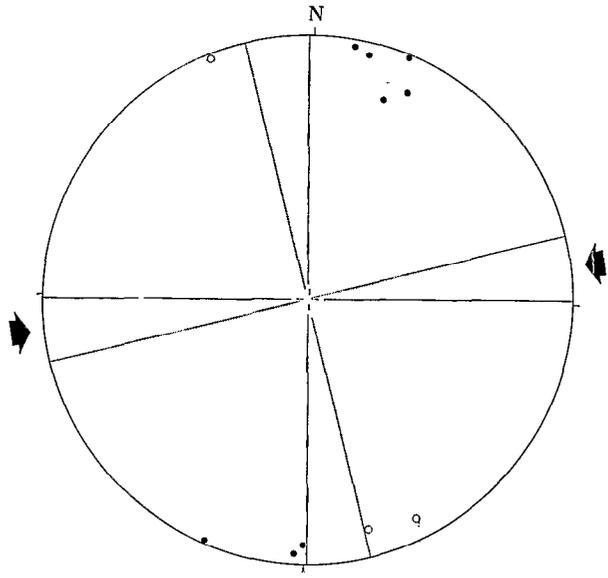


Fig. 10. — Diagramme de la station de mesure d'Ayo-Ayo. (10 décrochements) $Z = N082$.

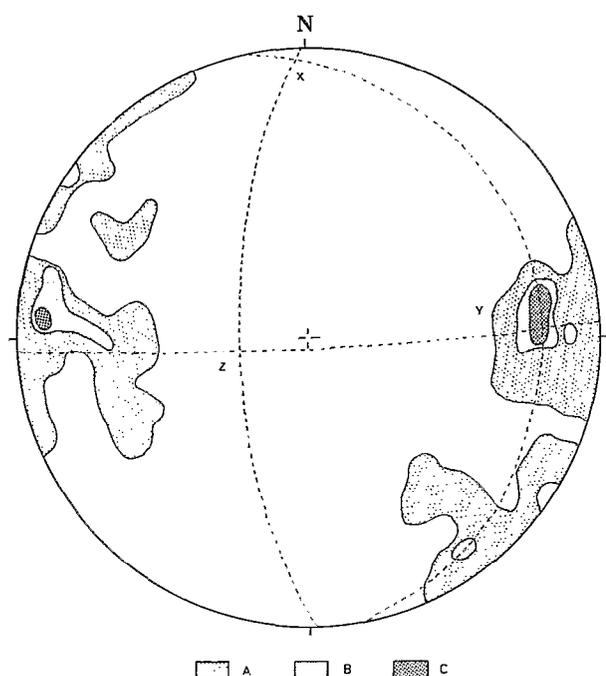


Fig. 11. - Diagramme de la station de mesure de Ceja Uypaca. (18 failles normales, pôles des plans de mouvements) $X = 02^\circ - N358$. A : 0 à 5,6 % ; B : 5,6 à 11,2 % ; C : 11,2 à 16,8 %.

Uypaca). Cette direction de distension existe aussi à Ayo-Ayo. Comme nous le verrons plus loin, cette déformation en distension est d'âge quaternaire.

Les déformations affectant les dépôts quaternaires

La déformation en compression

Nous n'avons encore observé que de rares traces de tectonique en compression dans les terrains quaternaires du bassin de La Paz.

Au nord, des observations faites dans des moraines, en amont du Rio Kaluyo, montrent des décrochements senestres de directions N020 et N000. Sur ces miroirs le décrochement est marqué par de grosses canelures. Des stries en failles normales se superposent à celles-ci. Dans le bassin d'Achocalla, en rive gauche du Rio Allpacoma, des décrochements affectent le « torrente de barro ». Ce sont des décrochements senestres N152 (avec double jeu senestre marqué par des canelures et des stries plus fines), et des décrochements dextres N127 (sur un des miroirs des stries en failles normales se superposent ici aussi aux canelures).

Ces décrochements senestres N152 et dextres N127 donnent une direction de compression proche de N140. Les décrochements des moraines du Rio

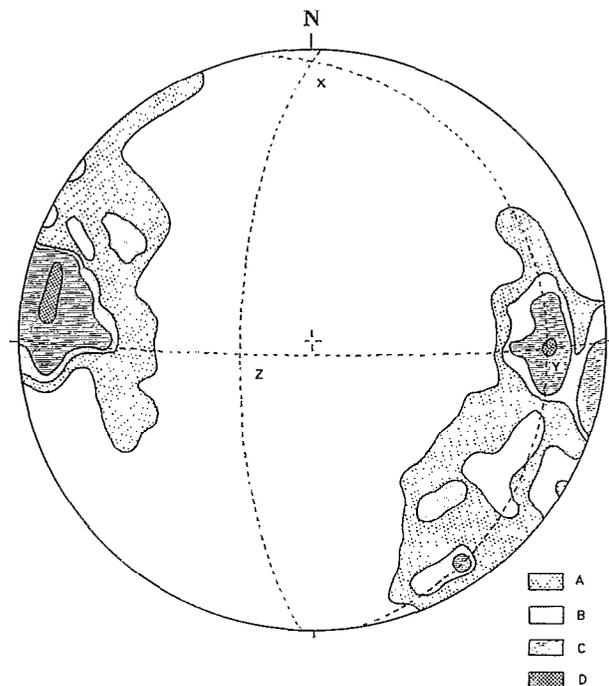


Fig. 12. - Diagramme de la station de mesure d'Irpavi. (40 failles normales) $X = 04^\circ - N359$. A : 0 à 2,5 % ; B : 2,5 à 5 % ; C : 5 à 12,5 % ; D : 12,5 à 17,5 %.

Kaluyo sont compatibles avec une telle direction. Dans la vallée du Rio Chuquiaguillo la cinérite Chijini et la formation Quaternaire qui la recouvre, sont elles aussi affectées de décrochements donnant une direction de compression proche de N130. C'est la même direction de compression que celle déjà trouvée à Loma Ventilla et à Ovejuyo dans des sédiments pliocènes.

A Ayo-Ayo, le Pléistocène est affecté par des décrochements donnant une direction de compression $Z = N090$. Ce serait peut-être la même phase que celle trouvée dans le Pliocène de La Paz, ici à Ayo-Ayo plus tardive ou bien affectant un Pléistocène plus ancien que les glaciations de La Paz.

Nous remarquons sans apporter pour l'instant d'explication, que cette direction de compression est sensiblement parallèle à la chaîne au niveau de La Paz.

La déformation en distension

Les traces de la distension sont bien plus visibles. Ce sont en particulier les failles décalant la couverture du glaciaire 3 sur le bord de l'Altiplano, tout autour du bassin de La Paz (Allpacoma, Amachuma) (fig. 13). Ces failles ont une direction moyenne N130 et les segments en échelon sont N100. Leur rejet

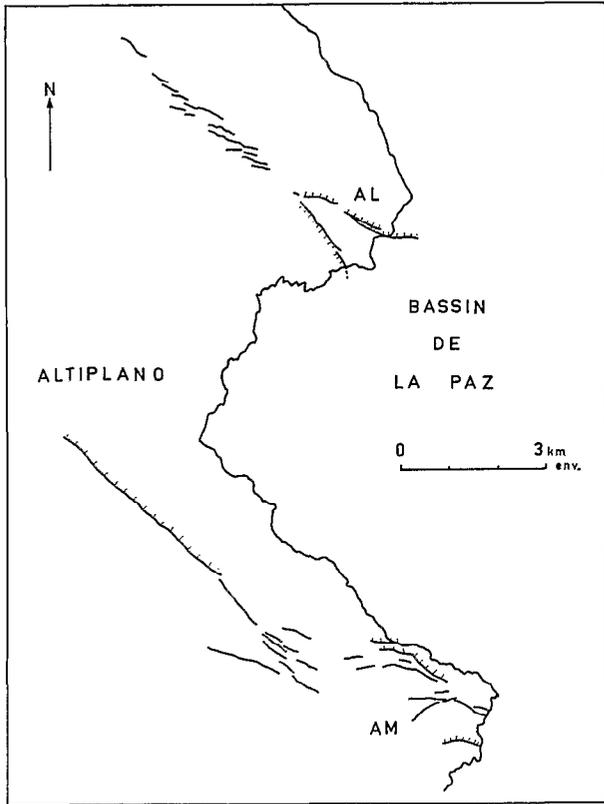


Fig. 13. — Schéma des failles normales quaternaires qui affectent le glaciaire 3 (selon les photos aériennes Hycon n°s 20550 et 28641). AC = Achocalla; AE = Aéroport; AL = Allpacoma; AM = Amachuma; LL = Llojeta; LV = Loma Ventilla; VB = Villa Ballivian.

est normal. A Allpacoma, si les stries sont peu marquées, bien que visibles (pitch 81E) le rejet et le crochon sont nets. En général le miroir de ces failles est à regard N.NE, parfois S.SW.

On retrouve cette famille de failles E.W. dans la Quebrada Minasa au Nord-Est de la ville. Ici, ces failles ont une direction N080 et un regard S.SW. Elles affectent la 1^{re} glaciation Calvario et les dépôts Purapurani susjacents. Sur une distance de 500 m environ on peut évaluer le rejet à 30 m environ.

Au nord d'Allpacoma, on note la présence de failles normales de directions N040 et N125, affectant les dépôts quaternaires. Ces directions marquent ici la limite de l'Altiplano et elles auraient pu être utilisées postérieurement par des glissements de terrain. Dans le Rio Chuquiaguillo, au niveau de l'ancienne usine électrique, la cinérite Chijini est elle aussi affectée par des failles de direction N130.

En amont du Rio Kaluyo des stries en failles normales se superposent aux canelures des décrochements N000 et N020.

De façon générale, les failles normales cartographiques sont EW ou NW-SE et correspondent à une direction de distension plutôt N-S.

Au niveau d'Allpacoma; suivant la coupe de la figure 14, on met en évidence deux jeux en distension suivant la même direction de faille (WNW-ESE avec rejet vers le NE). Au NE de la faille dans le compartiment abaissé, nous avons une grande épaisseur de graves Purapurani. Le glaciaire 3, marqué par un niveau important de rubéfaction, et sa couverture de graves quaternaires, viennent au contact du Purapurani. Au SW de la faille, les graves Purapurani n'existent plus et le glaciaire 3, avec son niveau de rubéfaction recoupe directement la formation La Paz argileuse.

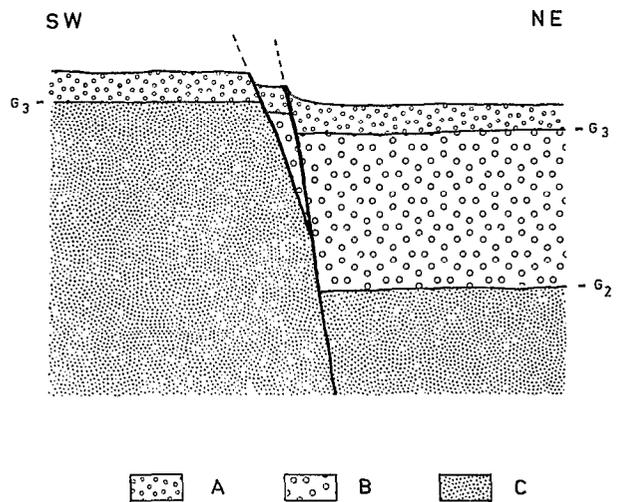


Fig. 14. — Coupe schématique perpendiculaire à la faille normale d'Allpacoma. A : couverture du glaciaire 3 (G3); B : graves Pura-Purani au-dessus du glaciaire 2 (G2); C : formation La Paz. (Les échelles ne sont pas respectées).

Ceci montre que cette faille d'Allpacoma a d'abord joué en faille normale, avant la formation du glaciaire 3. Son rejet est important. La partie sommitale de la formation La Paz est décalée d'au moins 100 m de part et d'autre de l'accident. Ensuite, après la formation du glaciaire 3, la faille a rejoué en distension, dans le même sens mais avec un rejet beaucoup plus faible (5 à 10 m).

Du point de vue chronologique, les phases en distensions quaternaires se succèdent de la façon suivante :

- Première phase de distension N000 antérieure au glaciaire 3.
- Phase de compression de direction N130 affectant le « torrente de barro » d'Achocalla et donc post glaciaire 3.

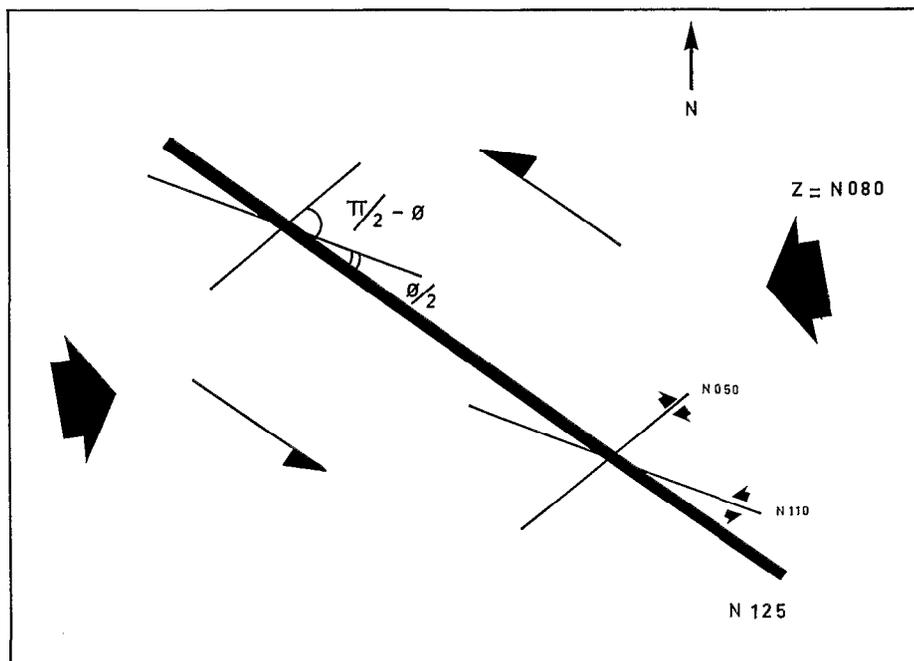


Fig. 15. — Cisaillements de Riedel. Schéma explicatif des décrochements observés dans la formation La Paz d'Allpacoma-Llojeta. La direction théorique de la compression est $Z = N080$.

— *Deuxième phase de distension* de direction N000 postérieure à la phase de compression $Z = N130$. En effet on observe la superposition des stries en faille normale et en décrochement sur les miroirs de failles dans les moraines du Rio Kaluyo et du « torrente de barro » du Rio Allpacoma.

Entre Llojeta et l'aéroport les observations montrent que les failles normales sont disposées en échelon. A Llojeta, à l'aplomb de ces failles N100 nous avons mesuré dans le Pliocène de nombreux décrochements N080 à N147 senestres et N045 à N110 dextres ; soit en moyenne N110 pour les senestres et N050 pour les dextres (fig. 7). Ces décrochements sont à considérer comme des cisaillements conjugués de Riedel à l'aplomb d'une zone de cisaillement majeur. Suivant le schéma de la fig. 15 on peut calculer la direction du cisaillement majeur (ici N125) avec une direction de compression $Z = N080$ théorique. Nous avons trouvé N074 sur le diagramme de la fig. 7.

Ainsi, dans une première étape, nous avons une grande fracture N125 (qui doit se trouver dans le socle paléozoïque ou secondaire) qui joue en décrochement senestre durant le Pliocène ou à la fin du Pliocène. Elle entraîne la création de décrochements conjugués N110 et N050 dans la formation pliocène. Dans une dernière étape la phase de distension

N000 provoque la formation de failles normales le long des segments N100 ce qui expliquerait leur disposition en échelon.

Comparaison avec le Pérou

Des études faites dans le Pérou central (SOULAS) (fig. 16), ont montré des directions de compression dans des terrains miocènes, pliocènes et quaternaires. Deux directions sont indiquées pour le Miocène :

- la première comprise entre 14 et 21MA où $Z = N045$
- l'autre plus jeune comprise entre 10,5 et 14MA où $Z = N000$

Au Pliocène (de Huancavelica à la Cordillère Blanche, région de Huaraz) la phase de compression comprise entre 4,5 et 8,2 MA a pour direction $Z = N090$.

Au Quaternaire les déformations de Gran Bretaña et les déformations dans les moraines du pied de la Cordillère Blanche indiquent une direction de compression $Z = N130$.

De plus à Huancayo, Soulas observe deux directions de compression : $Z = N045$ et $Z = N000$. Dans la formation Jauja (Pliocène ou Quaternaire) il a mesuré une direction de $Z = N075$.

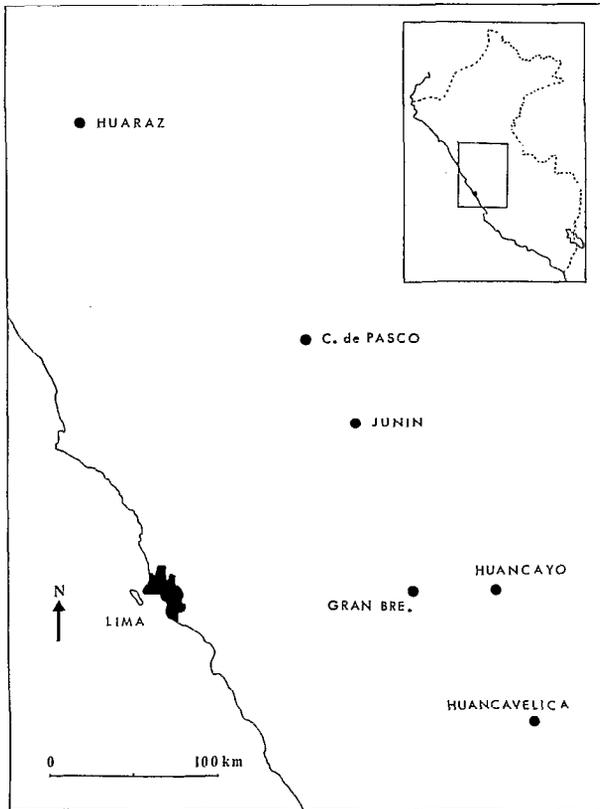


Fig. 16. — Schéma du Pérou central.

Si nous comparons ces résultats aux nôtres, nous retrouvons des directions communes :

- La direction EW (N090 ou N075) est commune au Pliocène du Pérou central et à celui du Nord de l'Altiplano bolivien.
- Les directions Z = N000 et Z = N130 existent aussi à La Paz. Toutefois nous avons observé Z = N000 uniquement dans le Pliocène alors que Z = N130 affecte le Quaternaire.

Les directions N045 et N075 ne sont pas exprimées dans le Quaternaire de La Paz. Soulas n'observe pas dans le centre du Pérou de direction de distension dans les terrains plio-quaternaires alors que c'est le cas sur la côte du Sud du Pérou (Lavenu-Soulas). A La Paz, la direction de distension Z = N000 est très marquée.

CONCLUSION

L'étude des déformations tectoniques des dépôts plio-quaternaires des bassins de La Paz et Ayo-Ayo,

montre les effets d'une néotectonique importante et surtout d'une néotectonique en distension.

L'analyse microtectonique des microfailles observées et mesurées sur le terrain indique que les dépôts des formations La Paz et Umala sont affectés par des mouvements tectoniques en compression de directions N000 et N075 à N090 en moyenne.

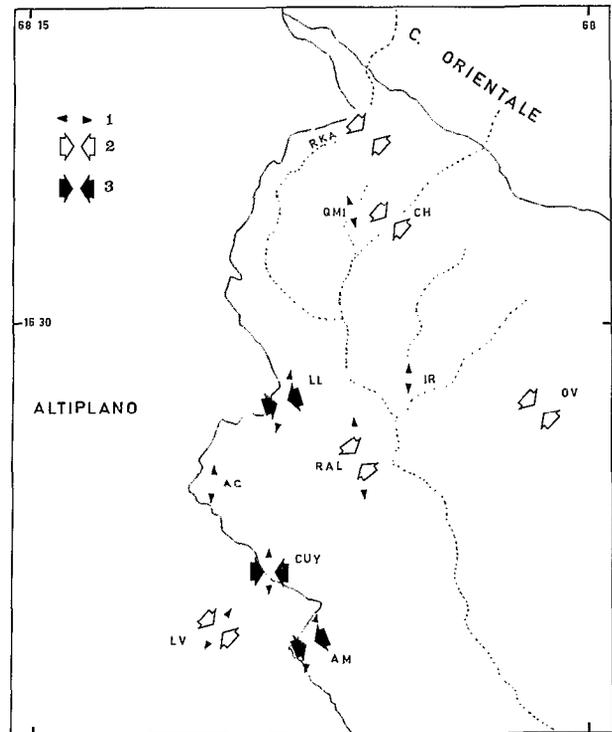


Fig. 17. — Schéma des directions de la déformation. A : direction de compression ; B : direction de distension. (Les cercles doubles indiquent la compression pliocène). AG = Achocalla ; AM = Amachuma ; CH = Chuquiaguillo ; CUY = Ceja Uyypaca ; IR = Irpavi ; LL = Llojeta ; LV = Loma Ventilla ; OV = Ovejuyo ; QM1 = Quebrada Minasa ; RAL = Rio Allpacoma ; RKA = Rio Kaluyo.

Les formations quaternaires sont affectées par une tectonique en compression de direction N130. Cette phase de compression est encadrée par deux phases de distension de même direction N000. La phase de compression et la dernière phase de distension qui affectent le « torrente de barro » d'Achocalla sont post-glacis 3. C'est la formation la plus récente que nous observons affectée par ces déformations.

Ainsi nous aurions la succession suivante :

Phases intra à fini-pliocènes (affectant les formations Pliocènes La Paz et Umala et aussi le Pléistocène d'Ayo-Ayo) :

- la phase de compression de direction $Z = N075$ à $N090$ donnant des plis et des décrochements.
- la phase de compression de direction $Z = N000$ donnant des failles inverses.

Nous ne connaissons pas la chronologie de ces deux phases.

Phases quaternaires :

- la phase de distension de direction $X = N000$ donnant des failles normales ;

- la phase de compression de direction $Z = N130$ donnant des décrochements ;
- la phase de distension de direction $X = N000$ donnant des failles normales.

La figure 17 récapitule la position des stations de mesure et les directions des différentes phases en compression et en distension observées.

*Manuscrit reçu au Service des Publications de l'O.R.S.T.O.M.
le 15 novembre 1977.*

BIBLIOGRAPHIE

- ARTHAUD (F.), 1969. — Méthode de détermination graphique des directions de raccourcissement, d'allongement et intermédiaire d'une population de failles. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, t. XI : 729-737.
- ARTHAUD (F.), CHOUKROUNE (P.), 1972. — Méthode d'analyse de la tectonique cassante à l'aide de microstructure dans les zones peu déformées. Exemple de la plateforme Nord-Aquitaine. *Rev. I.F.P.* vol. XXVII, n° 5 : 715-732.
- DOBROVOLNY (E.), 1962. — Geologia del Valle de La Paz. *Dept. Nac. Geol. Minist. Min. Petr. Bol.* N° 3, La Paz.
- EVERNDEN (J. F.), KRIZ (S. G.), CHERRONI (C.), 1966. — Correlaciones de las formaciones terciarias de la cuenca altiplanica a base de edades absolutas, determinadas por el método potasio-argon. *Serv. Geol. Bol. Hoja inf.* N° 1, La Paz.
- FABRE (D.), ROBERT (J. P.), 1975. — Analyse expérimentale des ruptures de la couverture liées à un mouvement décrochant du socle et applications. *Ann. Soc. Géol. Nord*, XCV, 3 : 175-182.
- HOFFSTETTER (R.), 1971. — Le gisement d'Ayo-Ayo (Bolivie) une succession stratigraphique Pliocène-Pléistocène, datée par des mammifères. *C. R. Acad. S. C.*, Paris, t. 273 : 2472-2475, série D.
- LAVENU (A.), 1976. — Failles verticales à stries verticales affectant des ignimbrites plio-quaternaires (sillar) dans le sud du Pérou (Arequipa). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Géol.*, vol. VIII, n° 1 : 3-9.
- LAVENU (A.), 1977. — Neotectonica de los sedimentos plio-cuaternarios de la cuenca de La Paz. *Revista de Geociencias*, vol. I, n° 1 (sous presse).
- LAVENU (A.), SOULAS (J. P.), 1974. — Observations de micro-failles Plio-Quaternaires en distension le long de la côte sud du Pérou. *Bull. IFEA*, III, n° 2 : 39-48.
- MARTINEZ (C.), KUSSMAUL (S.), SUPIETA (T.), TOMASI (P.), 1973. — Historia estructural del Altiplano de Bolivia. Sintesis estratigrafica, tectonica y del volcanismo. II° Congreso Latino-Americano de Geologia, Caracas.
- SERVANT (M.), 1977. — Le cadre stratigraphique du Plio-Quaternaire de l'Altiplano des Andes tropicales en Bolivie. — Recherches françaises sur le Quaternaire. INQUA 1977. *Supplément au Bulletin AFEQ* 1977. I, n° 50.
- SOULAS (J. P.), 1974. — La chaîne andine du Pérou central. — Chronologie, orientation et style des phases tectoniques du Tertiaire supérieur. Aperçus sur la Tectonique Quaternaire. *Bull. IFEA*, IV, n° 3-4 : 127-156.